Journal of Agricultural Economics and Development

Homepage: https://jead.um.ac.ir

Research Article

Vol. 38, No. 3, Fall 2024, p. 335-350

Providing a Roadmap for the Adaption of Agricultural Sector to Water Scarcity Conditions (Case Study: Selected Crops of Tajan Basin, Iran)

H. Fouladi[1], H. Amirnejad[2*], S. Shirzadi Laskookalayeh[3]

1, 2 and 3- Ph.D. Student, Professor and Asistant Professor of Agricultural Economics, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran, respectively.

(*- Corresponding Author Email: h.amirnejad@sanru.ac.ir)

Received:	21-07-2024
Revised:	30-08-2024
Accepted:	03-09-2024
Available Online:	03-09-2024

How to cite this article:
Fouladi, H., Amirnejad, H., & Shirzadi Laskookalayeh, S. (2024). Providing a roadmap for the adaption of agricultural sector to water scarcity conditions (Case study: selected crops of Tajan basin, Iran). *Journal of Agricultural Economics & Development*, *38*(3), 335-350. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jead.2024.89018.1279

Introduction

In recent decades, the issue of climate change has become one of the global issues and has affected the agricultural sector. The continuation of agriculture regardless of the water shortage crisis has had an inappropriate effect on the sustainability and growth of this sector. On the other hand, the destructive effect of excessive use of chemical fertilizers and pesticides on water, soil, health of ecosystems, humans and other living beings is undeniable. For this reason, the void of using an efficient model that can provide all economic and environmental aspects at the same time was completely felt. The aim of this study was to provide an optimal cropping pattern using the integrated method of Goal and Grey planning. For this purpose, the farmers of the agronomy sub-sector of Tajan Basin were selected as the statistical population. In this regard, time series information was collected from the aggregation of the average data of 401 settlements located in this area during the years 2017-2021 from the annual reports of experts.

Materials and Methods

The Linear Programming (LP) Model quantifies an optimal way of integrating constraints to satisfy the objective function to optimize crop production and profits for irrigation farmers. To use LP, one must convert the problem into a mathematical model. To do this, an objective such as maximizing profit or minimizing losses is required. The model must also include decision variables that affect those objectives, and constraints that limit what user can do. Therefore, the LP Model is a single-objective method. Goal Programming (GP) is an extension of LP in which targets are specified for a set of constraints. GP is used to perform three types of analysis: Determining the required resources to achieve a desired set of objectives. Determining the degree of attainment of the goals with the available resources. Providing the best satisfying solution under a varying amount of resources and priorities of the goals. Thus, the GP model is a multi-objective method. The Grey system theory is identified as an effective methodology that can be used to solve uncertain problems with partially known information. Grey modelling approach uses accident data for estimating the model parameters. The model can reflect the dynamics, balance the conflicting the multidimensional targets of cropping patterns, and promoting the sustainable use of cultivated land. For achieving different goals in unstable economic and environmental conditions, we used a Goal-Grey model that was obtained from the integration of Goal programing and Grey Programing. The Goal-Grey model, by considering the uncertainty in the data, leads to overlap between the economic and environmental goals and provides the scope of cultivation for the selected products**.**

©2024 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).

https://doi.org/10.22067/jead.2024.89018.1279

Results and Discussion

By estimating the Linear Programming (LP) Model, crops like wheat and canola are removed from the cropping pattern, while the cultivation areas for barley and high-yielding long-grain rice increase by 644% and 31%, respectively. In contrast, the cultivation areas for high-quality long-grain rice and maize decrease by 89% and 10%, respectively. Implementing this model boosts the gross profit of farmers in the Tajan region by 14% solely through adjusting the crop composition, without altering the current input levels. Additionally, the findings show that applying the LP Model results in fertilizer savings of 5%, 13%, and 10% for phosphate, nitrogen, and potash, respectively. The amount of herbicide and fungicide consumption in the LP Model is exactly equal to the current model of the region. However, the implementation of this model will lead to a 5% increase in the consumption of insecticides poison. The amount of irrigation water consumption in the LP Model was calculated to be 2% less than the current model of the region**.** In addition, the results indicate that by estimating the Goal-Grey Model, only canola is removed from the cropping pattern. Also, in order to achieve the defined goals in this study, the cultivation area of wheat and maize should be equal to 208 and 7356 hectares respectively. However, the flexibility of input usage enables adjustments to other crop cultivation areas, facilitating high-quality long-grain rice production on 970 to 18,157 hectares. Plus, the cultivation area of long-grain rice can vary from 7654 to 9995 hectares. In this model, barley can be removed from the crop composition like the linear pattern or cultivated on a maximum of 2553 hectares. The implementation of the Goal-Grey model will lead to a maximum 2% increase in the gross profit of the farmers of Tajan region compared to the current model of this region. Also, by implementing the Goal-Grey Model, on average, phosphate, nitrogen, and potash fertilizer consumption is saved by 16, 27, and 20 percent, respectively. In addition, with the implementation of the Goal-Grey Model, the consumption of agricultural pesticides will decrease from 733 to 355 thousand liters on average.

Conclusion

The LP Model is designed based on current regional conditions; however, as a single-objective model with fixed parameters, it lacks the flexibility to offer an adaptable program for farmers during drought or wet periods or when inputs are limited. Findings indicate that under current conditions, there is excessive use of chemical inputs and irrigation water. By accounting for data uncertainty, the Goal-Gray model addresses these limitations, balancing economic and environmental objectives and defining a cultivation range for selected crops.

Acknowledgement

We are grateful to the experts of agronomy management and plant conservation management of Mazandaran Province Agricultural Jihad Organization and Sari City Agricultural Jihad Management who cooperated in data collection .This article is taken from the preliminary results of a doctoral dissertation with material and intellectual rights related to Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, which is gratefully acknowledged.

Keywords: Cropping pattern, Economic and environmental goals, Gray, Optimization, Uncertainty

نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی
https://jead.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۳۸، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳، ص. ۳۵۰-۳۳۷

تدوین نقشه راه سازگاری بخش کشاورزی با شرایط کم‌آبی (مطالعه موردی: محصولات زراعی منتخب حوضه آبریز تجن)

حسین فولادی[1]- حمید امیرنژاد[2]*- سمیه شیرزادی لسکوکلایه[3]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۳۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۱۳

چکیده

در دهه اخیر مسئله تغییر اقلیم به یکی از معضلات مطرح جهانی تبدیل شده و به‌ویژه زیربخش زراعی را تحت تأثیر خود قرار داده است. تداوم کشاورزی بدون توجه به بحران کم‌آبی اثرات نامناسبی بر پایداری این بخش داشته است. از طرف دیگر، اثر مخربی که کاربرد بیش از حد نهاده‌های شیمیایی بر آب، خاک، تنوع زیستی، سلامت بوم‌نظام‌ها و موجودات زنده داشته غیرقابل انکار می‌باشد. به‌همین دلیل، خلأ استفاده از مدل کارآمدی که بتواند به‌طور هم‌زمان تمام جوانب اقتصادی و محیط‌زیستی را تأمین نماید کاملاً احساس می‌شد. هدف از این مطالعه، ارائه الگوی کشت بهینه با استفاده از تلفیق روش‌های برنامه‌ریزی آرمانی و خاکستری بود. بدین منظور بهره‌برداران زیربخش زراعی حوضه آبریز تجن به‌عنوان جامعه آماری و برنج دانه‌بلند مرغوب، برنج دانه‌بلند پرمحصول، گندم، جو، کلزا و ذرت به‌عنوان محصولات آبی منتخب تعیین شدند. در این راستا، اطلاعات سری زمانی از تجمیع میانگین داده‌های ۴۰۱ آبادی طی سال‌های ۱۴۰۰- ۱۳۹۶ گردآوری شد. یافته‌ها بیانگر آن بود که در شرایط فعلی، مصرف بی‌رویه در استفاده از نهاده‌های شیمیایی و آب آبیاری منطقه تجن وجود دارد. مدل آرمانی-خاکستری با لحاظ‌نمودن عدم قطعیت در شرایط اقتصادی و آب و هوایی، منجر به ایجاد هم‌پوشانی بین آرمان‌های اقتصادی و محیط‌زیستی و در نتیجه افزایش ۲ درصدی در میانگین سود ناخالص و صرفه‌جویی ۲۳، ۵۲ و ۲۱ درصدی در مصرف کودهای شیمیایی، سموم کشاورزی و آب آبیاری شد. در پایان پیشنهاد شد با ترویج مبارزه بیولوژیک با آفات و توزیع نهاده‌های زیستی، مصرف نهاده‌های شیمیایی کنترل شود و مروجان کشاورزی نیز منافع حاصل از اصلاح الگوی کشت را در خصوص حصول سود بیشتر تشریح نمایند.

واژه‌های کلیدی: الگوی کشت، آرمان‌های اقتصادی و محیط‌زیستی، بهینه‌سازی، خاکستری، عدم قطعیت

مقدمه

محدودیت منابع در بخش کشاورزی به‌ویژه نهاده مهم آب در کشور خشک و نیمه‌خشک ایران، بهینه‌سازی استفاده از این عوامل را در امر تولید به یک واقعیت غیرقابل انکار تبدیل کرده است (Mardani Najafabadi *et al.*, 2020). از سوی دیگر، به‌دلیل وجود ریسک‌های متعدد به‌ویژه ریسک ناشی از تغییر شرایط اقلیمی، برنامه‌ریزی تولید در این بخش مهم اقتصادی را با چالش جدی مواجه ساخته است. دوام کشاورزی بدون توجه به بحران تغییر اقلیم و کم‌آبی اثرات نامناسبی بر پایداری و رشد بخش کشاورزی خواهد داشت. با توجه به اینکه پیامدهای ناشی از تغییر اقلیم غیر قابل جلوگیری است، بنابراین می‌توان راهکارهای سازگاری با این پدیده را مورد بررسی قرار داد (Soleymani Nejad *et al.*, 2019).

سازگاری به معنای تطابق سامانه‌های طبیعی و انسانی در پاسخ به محرک‌های فعلی یا پیش‌بینی‌نشده اقلیمی و اثرات آن‌هاست، به‌گونه‌ای که منجر به تعدیل خسارات یا بهره‌مندی از فرصت‌های سودمند شود (Solimani *et al.*, 2021). یکی از راهبردهای سازگاری عبارتند از تغییر الگوی کشت فعلی و حرکت به‌سمت الگوی کشت هوشمند است (Mardani Najafabadi *et al.*, 2020). در این روش،

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی دکتری، استاد و استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email:h.amirnejad@sanru.ac.ir)

https://doi.org/10.22067/jead.2024.89018.1279

علاوه بر توجه به رفاه و درآمد فعالان در عرصه تولیدات کشاورزی و حفظ مشاغل آنان، با تخصیص بهینه اراضی و تعیین محصولات مناسب کشت هر منطقه و همچنین معین نمودن میزان بهینه مصرف نهاده‌ها، به پایدارماندن منابع آب و تداوم کشت و کار (پایداری بخش کشاورزی) و در نتیجه افزایش بهره‌وری و کاهش مخاطرات ناشی از کمبود منابع غذا کمک می‌شود (Sabzevari *et al*., 2020). اجرای یک الگوی کشت مناسب می‌تواند در تحقق سیاست امنیت غذایی بسیار مؤثر واقع شود (Iranian Islamic Council Research Center, 2023). علاوه بر این، در بند (الف) ماده (۳۳) فصل هفتم لایحه برنامه هفتم توسعه (۱۴۰۶-۱۴۰۲) که به موضوع ارتقای تولید محصولات کشاورزی اختصاص دارد، بیان شده که لازم است برنامه تولید بهینه (الگوی کشت) محصولات اساسی و منتخب تا یک ماه قبل از فصل کشت در هر حوضه و دشت تهیه گردد (Iranian Islamic Council Research Center, 2023). تعیین الگوی بهینه کشت یک موضوع پویا بوده و با توجه به تغییرات گسترده در متغیرهای اقلیمی و اقتصادی، باید هر چند وقت یک بار، به اصلاح آن مبادرت کرد. در این راستا، تدوین یک برنامه‌ی مدون برای استان مازندران که امکان کشت محصولات مختلف زراعی و باغی در آن وجود دارد حائز اهمیت می‌باشد.

یکی از تبعات بلندمدت تغییرات اقلیمی در این استان، آسیب‌پذیر شدن گونه‌های مختلف کشاورزی به‌ویژه در مناطق جلگه‌ای است (Mazandaran Province Agricultural Jihad Organization, 2022). محصولات مورد کشت در این منطقه علاوه بر نیازمندی‌شان به آب و بارندگی کافی، در برابر کاهش یا افزایش ناگهانی دمای هوا نیز حساس هستند. به‌عنوان نمونه بارندگی‌های بی‌موقع ماه مرداد در مازندران منجر به عدم مرغوبیت درختان میوه از جمله انجیر می‌شود؛ همان‌گونه که گرمای سوزان ماه‌های خرداد و تیر بر مرغوبیت گونه‌های دیگر ازجمله صیفی‌جات اثر می‌گذارد و گوجه‌های کم آب و خیارهای پوک روی دست کشاورزان بر جای می‌گذارد (Mazandaran Province Agricultural Jihad Organization, 2022). این‌که در سال‌های اخیر باغداران در نیمه فصل پاییز که اوج رسیدن مرکبات محسوب می‌شود شاهد بارش سنگین برف و کاهش دمای تا ۱۰ درجه زیر صفر باشند یا شالی‌کاران در خرداد و اوایل تیر که زمان رسیدن شالی است با افزایش دمای هوا و رسیدن آن به بالای ۴۰ درجه مواجه شوند، واقعیتی گویا از مخاطرات تغییرات اقلیمی علیه گونه‌های کشاورزی این استان است (Mazandaran Province Agricultural Jihad Organization, 2022). میانگین بارش باران در فروردین ماه ۱۴۰۲ در مازندران ۵۱/۹ میلی‌متر اعلام شده که این میزان نسبت به‌مدت مشابه دوره آماری بلندمدت که ۵۲/۷ میلی‌متر بوده، ۲ درصد کاهش نشان می‌دهد. میانگین بارش هفت ماهه سال آبی منتهی به فروردین ماه ۱۴۰۲ در مازندران نیز ۲۸۹ میلی‌متر اعلام شده که این میزان نسبت به مدت مشابه دوره آماری بلندمدت -حدود ۴۴۹ میلی‌متر- حدود ۳۶ درصد کاهش و نسبت به مدت مشابه سال آبی ۱۴۰۱-۱۴۰۰، -۴۱۱ میلی‌متر- حدود ۳۰ درصد کاهش داشته است. کاهش بارندگی در ارتفاعات و دشت‌ها و تغییر الگوی بارندگی از نم نم باران به بارش‌های سیل‌آسا و در اصطلاح علمی باران‌های غیرمؤثر در مازندران نمادهای مهم از آثار تغییر اقلیم در این استان است (National Center for Weather and Climate Change, 2023).

توان بالقوه آب مازندران در حد ۶ میلیارد و ۶۰۰ میلیون متر مکعب است که از این مقدار چهار میلیارد و ۹۰۰ میلیون متر مکعب آب‌های سطحی و بقیه آب‌های زیرزمینی است. سالانه حدود یک میلیارد و ۵۵۰ میلیون متر مکعب آب در بخش آب‌های سطحی و یک میلیارد و ۳۵۰ میلیون متر مکعب در بخش آب زیرزمینی بهره‌برداری می‌شود (Mazandaran Regional Water Authority, 2022). بررسی اثر تغییر اقلیم بر خشکسالی‌های سواحل جنوبی دریای مازندران در دوره‌های آتی نشان می‌دهد که شدت خشکسالی در دهه‌های آینده نسبت به گذشته افزایش خواهد یافت. این افزایش برای شرق دریای مازندران و به‌ویژه منطقه تجن شدیدتر است؛ زیرا سواحل غربی دریای مازندران بیشتر از سواحل شرقی آن تحت اثر جریان‌های شمالی سامانه پرفشار سیبری قرار دارند و در صورت استقرار پرفشار بر روی دریا، بارش‌ها در غرب دریای خزر بالاتر از منطقه شرقی آن خواهد بود (Mazandaran Regional Water Authority, 2022). با توجه به وسعت و گستردگی مازندران و بر اساس آمار هواشناسی که اقلیم‌های متنوع (کوهستانی و معتدل و مرطوب جلگه‌ای) را ثبت نموده، ارائه یک الگوی کشت برای کل استان مطلوب نمی‌باشد. بدین منظور در مطالعه حاضر زیربخش زراعی حوضه آبریز تجن در شرق مازندران مد نظر است.

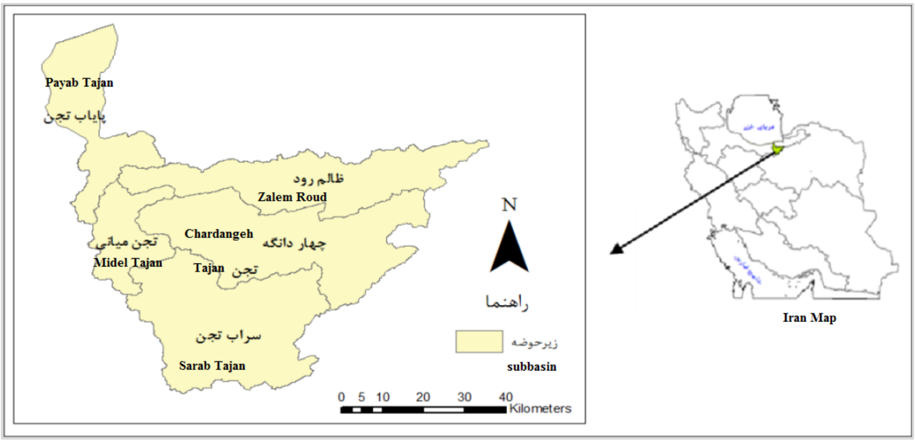
در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰، سطح زیرکشت پنج محصول آبی مهم برنج، گندم، جو، کلزا و ذرت در نواحی حوضه تجن به‌ترتیب ۳۳۹۰۷، ۲۲۰۰، ۳۸۶، ۲۸۵ و ۲۵۵۰ هکتار گزارش شده است. همچنین، جمع سطح کشت محصولات فوق‌الذکر در این حوضه ۳۷/۳ هزار هکتار است که سهم ۹۲ درصدی از کل سطح زراعی این منطقه (۴۰/۵ هزار هکتار) دارد (Ministry of Agriculture Jahad, 2022). برنامه‌ریزی جهت بهبود کشت این محصولات می‌تواند نقش حمایتی جهت تأمین نیازهای ساکنین منطقه نسبت به محصولات راهبردی مذکور داشته باشد. البته دستیابی به این مهم نباید به قیمت آسیب به محیط‌زیست و تهدید منابع آب و خاک باشد. در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰، مجموع کودهای شیمیایی و سموم توزیع‌شده در این حوضه ۲۰ هزار تن و ۲/۹ هزار لیتر بوده که این میزان در کل استان مازندران به‌ترتیب ۱۱۱ هزار تن و ۲۷۸ هزار لیتر می‌باشد. بدین ترتیب سهم توزیع کود و سم در منطقه تجن نسبت به کل استان برابر با ۱۴/۴ و

۶/۸ درصد است (Mazandaran Province Agricultural Jihad Organization, 2022). بنابراین، کنترل مصرف یا استفاده بهینه از نهاده‌های شیمیایی نیز باید در برنامه‌ریزی‌ها به‌عنوان آرمان محیط‌زیستی در کنار آرمان اقتصادی که فقط به سود حاصل از کشت محصولات توجه دارد، مد نظر قرار گیرد.

مطالعه حاضر درصدد است روش تلفیقی آرمانی-خاکستری[1] را در بخش کشاورزی که با عدم‌قطعیت گره خورده است، به‌کارگیرد. از آنجایی مدل برنامه‌ریزی ریاضی خاکستری نتایج متغیرهای تصمیم را به‌صورت بازه مشخص می‌کند؛ بنابراین در تدوین الگوی کشت بهینه، سطح کشت هر محصول را به‌صورت یک بازه و نه به‌صورت یک هدف تنظیم می‌کند؛ لذا می‌تواند به‌دلیل محدودیت منابع، نتایج مناسب‌تر و کاربردی‌تری را ارائه دهد. بدین‌ترتیب می‌توان برای هر یک از محصولات زراعی منتخب در حوضه تجن، جهت دستیابی همزمان به جمیع آرمان‌های اقتصادی و محیط‌زیستی یک دامنه کشت را در شرایط عدم قطعیت پیشنهاد نمود. با توجه به اینکه تغییر الگوی کشت یکی از راهبردهای سازگاری با کم‌آبی است؛ لذا نتایج این مطالعه می‌تواند نقشه راه سازگاری بخش زراعی تجن را با شرایط کم‌آبی مشخص نماید. همچنین، تحقیق حاضر درصدد پاسخ به این سؤال است که میزان صرفه‌جویی در مصرف نهاده‌های مختل‌کننده توسعه پایدار کشاورزی (کود و سموم شیمیایی) و میزان صرفه‌جویی در مصرف آب در الگوی کشت بهینه در مقایسه با الگوی فعلی منطقه‌ی مورد مطالعه چه مقدار است؟ شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

تصمیم‌گیری، مستلزم انتخاب راهی از میان راه‌هاست و این انتخاب هنگامی هوشیارانه و حساب شده است که بیش از یک معیار در گزینش آن به‌کار گرفته شده باشد. این معیارها ممکن است گاهی در تضاد با هم باشند و یا در مواردی از اهمیت‌ها و اولویت‌های مختلفی برای تصمیم‌گیرنده برخوردار باشند؛ همچنین در مواردی ممکن است تصمیم‌گیرنده ذهنیتی از هدف هر معیار داشته باشد و مقدار مطلوبی را دنبال نماید (Yazdi & Sohrabi, 2021). برای این منظور مدل‌های چندهدفه پیشنهاد شده است. برای بهینه‌سازی مسائل چندهدفه روش‌های گوناگونی نظیر برنامه‌ریزی آرمانی، لکسیکوگرافی[2]، برنامه‌ریزی چندهدفه احتمالی[3]، روش معیار جامع[4]، رویکرد تبدیل تابع هدف به محدودیت[5] و غیره مطرح شده است. برنامه‌ریزی آرمانی از مهم‌ترین و رایج‌ترین روش‌های برنامه‌ریزی چندهدفه است که معمولاً به‌صورت مدل برنامه‌ریزی خطی توسعه‌یافته دیده می‌شود. روش برنامه‌ریزی آرمانی بر اساس داده‌های دقیق و قطعی مدل‌سازی می‌شود؛ لذا به تنهایی نمی‌تواند نتایج قابل‌قبولی ارائه نماید (Akbari *et al.*, 2009). برای رفع این محدودیت، باید از روش‌هایی استفاده شود که در آن امکان واردنمودن عدم حتمیت در پارامترها و مقادیر نادقیق ناشی از شرایط غیرقطعی مهیا باشد (Sengupta *et al.*, 2001). برای این منظور مدل‌های غیرقطعی[6] ارائه شده‌اند که در آن عدم اطمینان وجود دارد و همه اجزای اطلاعاتی آن به‌طور قطع شناخته شده نیستند. این مدل‌ها می‌توانند دارای جواب‌های مطمئن[7] یا نامطمئن[8] باشند؛ به‌طوری‌که راه‌حل‌های مطمئن می‌توانند به‌صورت چرخه‌ای[9] یا غیرچرخه‌ای[10] به‌دست آید (Ghaffari-Hadigheh, 2016). رویکردهای مختلفی برای نشان دادن عدم قطعیت در داده‌ها وجود دارد؛ یکی از راهکارها در این زمینه جایگزینی پارامترهای قطعی و سفید با پارامترهای خاکستری می‌باشد. شکل‌گیری مفهوم «خاکستری» بر اساس داشتن اطلاعات ناقص است. تقسیم‌بندی در این سیستم، بر مبنای حالت‌های سفید (اطلاعات شناخته‌شده)، سیاه (اطلاعات کاملاً ناشناخته) و خاکستری (اطلاعات شناخته و ناشناخته) است (Ganesan, 2007). مدل خاکستری با تلفیق دو روش برنامه‌ریزی فازی[11] و برنامه‌ریزی پارامتر بازه‌ای[12] امکان لحاظ‌نمودن عدم قطعیت در کلیه پارامترهای مدل (ضرایب فنی، ضرایب تابع هدف و مقادیر سمت راست) را فراهم می‌آورد و بدین ترتیب تکامل‌یافته دو روش فوق‌للذکر می‌باشد (Ganesan, 2007).

1- Fuzzy-Gray Programming
2- Lexicographic
3- Multi-Objective Stochastic Optimization
4- LP-Metric
5- The Approach of Converting the Objective Function into a Constraint
6- Non-deterministic Planning Model
7- Safe Solutions
8- Unsafe Solutions
9- Cyclic
10- Acyclic
11- Fuzzy Programming (FP)
12- Interval Parameter Programing (IPP)



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه تجن در استان مازندران

Figure 1- Geographical location of Tajen region in Mazandaran province

بررسی مطالعات پیشین حاکی از آن است که اگرچه مطالعات داخلی در حوزه‌های غیرکشاورزی از مدل تلفیقی آرمانی-خاکستری به‌صورت محدود استفاده کرده‌اند (Babakhani *et al.*, 2013؛ Razavi Hajiagha *et al.*, 2013 و Amoozad Mahdiraji *et al.*, 2017)، لیکن در حوزه کشاورزی برای تدوین الگوی کشت با لحاظ چند هدف و شرایط غیرقطعی از مدل‌های متنوعی بهره گرفته شده است. به‌طوری‌که استفاده از روش‌های برنامه‌ریزی فازی کسری[1]، فازی کسری خاکستری با اهداف چندگانه[2]، فازی خاکستری، برنامه‌ریزی کسری چندهدفه فازی، برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای فازی با پارامترهای بازه‌ای در شرایط عدم حتمیت[3]، برنامه‌ریزی آرمانی فازی و برنامه‌ریزی فازی بازه‌ای در مطالعات محسنی و نبی‌یان (Mohseni & Nabiyyan, 2017)، مردانی نجف‌آبادی و همکاران (Mardani Najafabadi *et al.*, 2020)، کشیری کلائی و همکاران (Kashiri Kolaei *et al.*, 2021)، دادخواه (Dadkhah, 2022) و باقری و همکاران (Bagheri *et al.*, 2023) مشاهده می‌شود.

باسوماتری و میترا (Basumatary & Mitra, 2022) از روش برنامه‌ریزی جهت تعیین الگوی کشت منطقه کوکرجار[4]، آسام[5]، هند استفاده نمودند. نتایج نشان داد دریافت سود ۴۵۷۵۱۷ روپیه‌ای در برنامه‌ریزی تولید ناشی از روش برنامه‌ریزی خطی چندهدفه فازی[6] که ۵۹/۶۹ درصد بیش از سطح آرمان بود. لی و همکاران (Li et al., 2021) با استفاده از روش برنامه‌ریزی بازه‌ای غیرخطی[7] به تخصیص آب در منطقه بجینگ تیانجین[8] (چین) پرداختند. نتایج نشان داد که میان راهکارهای حاصل از تابع هدف قطعی با تابع هدف نامطمئن و غیرحتمی تمایز وجود داشت.

جمع‌بندی مطالعات پیشین بیان می‌دارد در اکثر مطالعات انجام‌شده در زمینه تعیین الگوی کشت بهینه با استفاده از مدل‌های چندهدفه، یا پارامترها به‌صورت قطعی در نظر گرفته شده و یا اگر عدم قطعیت را لحاظ نموده‌اند، عدم قطعیت را صرفاً در یک بخش از مدل (ضرایب تابع هدف، ضرایب فنی یا مقادیر سمت راست) اعمال کرده‌اند؛ اما در این مطالعه کلیه پارامترها غیرقطعی است. مطالعه حاضر با لحاظ عدم قطعیت به‌صورت برنامه‌ریزی خاکستری از یک سو و لحاظ همزمان اهداف متضاد اقتصادی (سود) و محیطزیستی (کاهش مصرف آب و نهاده‌های شیمیایی) به‌صورت برنامه‌ریزی آرمانی از سوی دیگر، سطح کشت محصولات زراعی منتخب در منطقه تجن را به‌صورت دامنه تعیین می‌نماید.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه جهت تعیین الگوی کشت بهینه محصولات زراعی منتخب منطقه تجن مدل آرمانی و مدل خاکستری با هم تلفیق شد. فرم کلی مدل تلفیقی آرمانی-خاکستری به‌صورت رابطه (۱) می‌باشد (Babakhani *et al.*, 2013):

$$Min\ Z = \sum_{k=1}^{K}(d_k^- + d_k^+) \qquad (۱)$$

Subject to**:**

$$\sum_{i=1}^{n} \tilde{C}(\otimes)_{i1} X_i + d_1^- - d_1^+ = \tilde{g}(\otimes)_1$$

1. Fuzzy Fractional Programming
2- Multi- objective Fuzzy Fractional Programming
3- Fuzzy two-stage Stochastic Programming with Interval Parameters under Uncertainty
4- Kokrajhar
5- Assam, India
6- fuzzy Multi-objective Linear Programming
7- Nonlinear Interval Programming
8- Beijing-Tianjin-Hebei Region

$$\sum_{i=1}^{n} \tilde{b}(\otimes)_{jk-1} + d_{k-1}^{-} - d_{k-1}^{+} = \tilde{g}(\otimes)_{k-1}$$

$$\tilde{A}(\otimes)X \leq \tilde{b}(\otimes)$$

k=1,2,…,K

i=1,…,n

j=1,…,m

X≥0

$$d_k^{-}, d_k^{+} \geq 0$$

که در آن k تعداد آرمان‌ها، d_k^{-} انحراف منفی از آرمان‌ها، d_k^{+} انحراف مثبت از آرمان‌ها، g سطح مطلوب آرمان‌ها، i تعداد محصولات زراعی مورد بررسی در منطقه، X سطح زیرکشت محصولات منتخب در منطقه، C بردار سود ناخالص حاصل از تولید محصولات زراعی در منطقه، j تعداد محدودیت منابع، b بردار موجودی و مقدار قابل‌دسترس منابع و A بردار مورد نیاز منابع برای هر هکتار تولید محصـــولات زراعی در منطقه را نشان می‌دهد. همچنین، علامت (⊗) نشان‌دهنده خاکســـتری‌بودن پارامترهای مدل و علامت ~ حاکی از عدم حتمیت می‌باشد.

در این مطالعه حداکثرسازی سودآوری محصولات زراعی منتخب در منطقه تجن به‌عنوان آرمان اقتصـــادی و اســـتفاده‌ی بهینه از منابع کود و سـموم کشـاورزی و همچنین حداقل‌سـازی مصـرف آب مجازی به‌عنوان آرمان محیطزیسـتی در نظر گرفته شـد. لازم به ذکر است از رابطه (۲) برای محاســـبه شـــاخص آب مجازی آبی اســـتفاده شـــد (Soltani *et al.*, 2020):

$$\overline{SWD}_i = \frac{\overline{CWR}_i}{\overline{CY}_i} \qquad (۲)$$

که در آن SWD_C نیاز خالص آبی محصول C بر حسب مترمکعب در تولید یک تن محصول، $\overline{CWR}_i$ متوسط نیاز خالص آبی (صرف نظر از باران مؤثر) در سـطح منطقه برای محصـول بر حسـب متر مکعب در هکتار و $\overline{CY}_C$ متوسط عملکرد محصول بر حسب تن بر هکتار می‌باشد (Soltani *et al.*, 2020). لازم به ذکر است آب آبی مصـرف آب‌های سطحی یا زیرزمینی را مشخص می‌نماید. فرم تجربی مطالعه حاضر به شکل رابطه (۳) می‌باشد:

$$Min\ Z = \sum_{k=1}^{8}(d_1^{-} + d_2^{+} + d_3^{+} + d_4^{+} + d_5^{+} + d_6^{+} + d_7^{+} + d_8^{+}) \qquad (۳)$$

Subject to**:**

$$\sum_{i=1}^{6} \tilde{C}(\otimes)_{i1}X_i + d_1^{-} - d_1^{+} = \tilde{g}(\otimes)_1$$

$$\sum_{i=1}^{6} \tilde{b}(\otimes)_{jk-1} + d_{k-1}^{-} - d_{k-1}^{+} = \tilde{g}(\otimes)_{k-1}$$

$$\sum_{i=1}^{6} \widetilde{w}_i(\otimes)X_i \leq \widetilde{W}_j(\otimes) \quad , \quad j = 1,2,\dots,12$$

$$\sum_{i=1}^{6} \tilde{l}_i(\otimes)X_i \leq \tilde{L}_j(\otimes) \quad , \quad j = 1,2,\dots,12$$

$$\sum_{i=1}^{6} \widetilde{m}_i(\otimes)X_i \leq \widetilde{M}_j(\otimes) \quad , \quad j = 1,2,\dots,12$$

$$\sum_{i=1}^{6} \widetilde{ph}_i(\otimes)X_i \leq \widetilde{PH}(\otimes)$$

$$\sum_{i=1}^{6} \tilde{n}_i(\otimes)X_i \leq \tilde{N}(\otimes)$$

$$\sum_{i=1}^{6} \tilde{p}_i(\otimes)X_i \leq \tilde{P}(\otimes)$$

$$\sum_{i=1}^{6} \tilde{h}_i(\otimes)X_i \leq \tilde{H}(\otimes)$$

$$\sum_{i=1}^{6} \tilde{\imath}_i(\otimes)X_i \leq \tilde{I}(\otimes)$$

$$\sum_{i=1}^{6} \tilde{f}_i(\otimes)X_i \leq \tilde{F}(\otimes)$$

$$\sum_{i=1}^{6} \tilde{c}_i(\otimes)X_i \leq \tilde{C}(\otimes)$$

$$\sum_{i=1}^{6} 1 * X_i \leq \tilde{X}(\otimes)$$

لازم به ذکر است ۴۶ منبع محدودکننده لحاظ شده در مدل شامل ۱۲ محدودیت ماهانه آب (W)، ۱۲ محدودیت ماهانه نیروی‌کار (L)، ۱۲ محدودیت ماهانه ماشـــین‌آلات (M)، ۳ محدودیت کود شـــیمیایی فسـفاته (PH)، ازته (N) و پتاسـه (P)، ۳ محدودیت سـموم کشـاورزی علف‌کش (H)، حشره‌کش (I) و قارچ‌کش (F)، یک محدودیت سرمایه (C) و یک محدودیت زمین قابل برنامه‌ریزی (X) و ۲ محدودیت زمان کشت (پاییزه-بهاره) است. همچنین، ۶ محصول زراعی لحاظ‌شده در مدل شـامل گندم، جو، کلزا، ذرت دانه‌ای، برنج دانه‌بلند مرغوب و برنج دانه‌بلند پرمحصول می‌باشد.

در رهیافت برنامه‌ریزی آرمانی ابتدا برای هر آرمان یک ســـطح مطلوب انتخاب می‌شود. این انتخاب می‌تواند بر مبنای اسناد بالادستی (اهداف توسـعه‌ای، سـند چشـم‌انداز، برنامه آمایش سـرزمینی و غیره) باشـد. سـپس در تابع هدف سـعی می‌شـود فاصـله از آرمان‌ها حداقل گردد. در ستون شرح جدول ۱ به نحوه تعیین سطح مطلوب آرمان‌های مطالعه پرداخته شده است.

جدول ۱- دامنه آرمان‌های تحقیق (آرمان‌های اقتصادی-محیط‌زیستی)

Table 1- The range of the goals in research (economic-environmental goals)

مرجع **Reference**	سطح مطلوب آرمان **Desirable level of Goals**		آرمان **Goals**
نظر کارشناسان و صاحب‌نظران مدیریت زراعت و حفظ نباتات بخش کشاورزی The opinion of experts in agronomy management and plant conservation management in the agricultural sector	حداکثر ۵ درصد افزایش در ارزش حال سود ناخالص مدل خطی طی دوره مورد مطالعه A maximum of 5 percent increase in the present value of the gross profit of the linear model during the study period	حداقل ۵ درصد افزایش در ارزش حال سود ناخالص مدل فعلی طی دوره مورد مطالعه A minimum of 5 percent increase in the present value of the gross profit of the current model during the study period	آرمان ۱: افزایش مجموع سود ناخالص زارعین منطقه تجن Goal 1: Increasing the total gross profit of Farmers in Tajen region
ماده (۳۴) الی (۴۲) آیین‌نامه اجرایی ورود، ساخت، فرمولاسیون و مصرف کودهای شیمیایی، زیستی، آلی و سموم دفع آفات نباتی Article (34) to (42) of the Executive Regulations for Import, Manufacture, Formulation and Consumption of Chemical, Biological, Organic Fertilizers and Plant Pesticides	کاهش یک درصدی حداکثر موجودی نهاده‌های شیمیایی توزیعی در دوره مورد مطالعه One percent decrease in the maximum inventory of distribution chemical inputs in the studied period	کاهش یک درصدی حداقل موجودی نهاده‌های شیمیایی توزیعی در دوره مورد مطالعه One percent decrease in the minimum inventory of distribution chemical inputs in the studied period	آرمان ۲: کاهش نهاده‌های مختل‌کننده توسعه پایدار کشاورزی Goal 2: Reduction of inputs disrupting the sustainable development of agriculture
کارگروه استانی سازگاری با کم‌آبی در افق ۱۴۰۵ (بازه ۵ ساله ۱۴۰۵-۱۴۰۰) Provincial working group for adapting to water scarcity in the horizon of 2026 (5-year period (2021-2026	کاهش ۲/۹ درصدی حداکثر موجودی منابع آبی حوضه تجن در دوره مورد مطالعه 2.9 percent decrease in the maximum water resources of Tajen basin in the studied period	کاهش ۲/۹ درصدی حداقل موجودی منابع آبی حوضه تجن در دوره مورد مطالعه 2.9 percent decrease in the minimum water resources of Tajen basin in the studied period	آرمان ۳: کاهش مصرف آب آبی در کشاورزی Goal 3: Reducing blue water consumption in agriculture

در رهیافت برنامه‌ریزی خاکستری دو زیرمدل تهیه می‌شود که می‌توانند به‌صورت مستقل یا مشترک فرمول‌سازی شوند. اگر زیرمدل‌ها به شکل جداگانه فرموله شوند، در یک زیرمدل، جواب بهینه در حدود بالا و در زیرمدل دیگر، جواب بهینه در حدود پایین جستجو می‌شود. اما با ترکیب دو زیرمدل در یک چهارچوب واحد، مستقیماً دامنه‌ای از مقادیر بهینه مشخص می‌گردد (Ko & Chang, 2008). در یک مدل خاکستری میزان درجه خاکستری حائز اهمیت است. هرچه درجه خاکستری بودن بیشتر باشد، کارایی جواب‌های حاصله کمتر است. رابطه (۴) درجه خاکستری‌بودن یک دامنه را نشان می‌دهد که در آن $\bar{\otimes}(X)$، $\underline{\otimes}(X)$ و $\otimes_m(X)$ به‌ترتیب حد بالا، حد پایین و حد میانی بازه تعریف‌شده را نشان می‌دهند.

$$Gd[\bar{\otimes}(X)] = \{[\bar{\otimes}(X)] - \underline{\otimes}(X)/\otimes_m(X)\} * 100 \quad (۴)$$

در این تحقیق بهره‌برداران زیربخش زراعی حوضه آبریز تجن به‌عنوان جامعه آماری انتخاب شدند. محصولات برنج مرغوب، برنج پرمحصول، گندم، جو، کلزا و ذرت طی سال‌های ۱۴۰۰- ۱۳۹۶ به‌طور متوسط حدود ۹۰ درصد کل سطح زراعی این حوضه را تشکیل می‌دادند؛ لذا به‌عنوان محصولات مورد بررسی انتخاب شدند. در این راستا، اطلاعات سری زمانی ۵ساله از تجمیع میانگین داده‌های ۴۰۱ آبادی واقع در منطقه مورد مطالعه حاصل از گزارشات سالانه خبرگان کشاورزی گردآوری شد. این اطلاعات شامل قیمت، عملکرد، میزان تولید، مقدار و قیمت نهاده‌های مصرفی هر یک از محصولات منتخب در هکتار می‌باشد. برای هریک از ضرایب تابع هدف، ضرایب فنی و مقادیر سمت راست به‌صورت مجزا طی دوره مذکور بازده تعیین شده است. به‌عنوان مثال، برای تعیین بازه مقدار مصرف کود برای محصول گندم، کمترین مقدار مصرف طی این دوره به‌عنوان کران پایین و بیشترین مقدار مصرف برای این محصول به‌عنوان کران بالا در نظر گرفته شده است. برای تعیین بقیه بازه‌ها برای هریک از محصولات و محدودیت‌ها نیز به‌همین گونه عمل شده است. به‌عنوان مثال، برای تعیین مقدار سمت راست مربوط به محدودیت آب، بیشترین موجودی آب حوضه تجن طی پنج سال مورد بررسی به‌عنوان کران بالا و کمترین موجودی در دوره مذکور به‌عنوان کران پایین لحاظ شده است. لازم به ذکر است که در مورد ضرایب تابع هدف و همچنین محدودیت سرمایه که با شاخص‌های قیمت، درآمد و هزینه سروکار دارند؛ از طریق نرخ بهره بانکی (۱۵ درصد)، ارزش حال مقادیر طی پنج سال محاسبه و سپس کران بالا و پایین تعیین شده است. اطلاعات موردنیاز با مراجعه مستقیم به سازمان جهاد کشاورزی و شرکت آب منطقه‌ای استان به‌دست آمد. جهت برآورد الگوهای مطالعه (فعلی منطقه، خطی، آرمانی-خاکستری) از بسته‌های نرم‌افزار

برنامه‌نویسی Excel و Lingo استفاده شد.

نتایج و بحث

مدل‌های تحقیق با استفاده از روش‌های برنامه‌ریزی خطی و آرمانی-خاکستری تخمین زده شد؛ یافته‌ها در جدول ۲ گزارش شد.
نتایج مندرج در جدول ۱ نشان داد با تخمین الگوی خطی محصولات گندم و کلزا از الگوی کشت حذف و سطح کشت محصولات جو و برنج دانه‌بلند پرمحصول به‌ترتیب ۶۴۴ و ۳۱ درصد افزایش یافت. همچنین، در این الگو سطح کشت محصولات برنج دانه‌بلند مرغوب و ذرت دانه‌ای به‌ترتیب ۸۹ و ۱۰ درصد کاهش یافت. اجرای این الگو سبب افزایش ۱۴ درصدی سود ناخالص زارعین منطقه تجن بدون اعمال تغییر در موجودی نهاده‌های فعلی و تنها از طریق تغییر ترکیب کشت شد. علاوه بر این، نتایج جدول ۱ حاکی از آن بود که با تخمین الگوی آرمانی-خاکستری فقط محصول کلزا از الگوی کشت حذف می‌گردد. همچنین، در راستای دستیابی به آرمان‌های تعریف‌شده در این مطالعه گندم و ذرت دانه‌ای به‌ترتیب باید سطح کشتی معادل ۲۰۸ و ۷۳۵۶ هکتار را در الگو حفظ می‌کردند. با این حال با توجه به متغیربودن موجودی نهاده‌ها، دامنه کشت سایر محصولات می‌توانست در نوسان باشد؛ به‌طوری‌که برنج دانه‌بلند مرغوب می‌توانست بین ۹۷۰ هکتار تا ۱۸۱۵۷ هکتار کشت شود. همچنین، سطح کشت برنج دانه‌بلند پرمحصول نیز می‌توانست ۷۶۵۴ تا ۹۹۹۵ هکتار متغیر باشد. محصول جو نیز می‌توانست مطابق با الگوی خطی از ترکیب کشت حذف شود و یا حداکثر به میزان ۲۵۵۳ هکتار مورد کشت قرار گیرد. اجرای الگوی آرمانی-خاکستری حداکثر ۲ درصد منجر به افزایش سود ناخالص زارعین منطقه تجن نسبت به الگوی فعلی منطقه شد. بنابراین، نتیجه گرفته شد که حداقل ۳ درصد انحراف از آرمان یک وجود دارد. شکل ۲ سود ناخالص ترکیبات فعلی محصولات منتخب (الگوی فعلی)، سود ناخالص بهترین حالت ترکیب محصولات منتخب با توجه به میانگین شرایط موجود (الگوی خطی) و دامنه سود ناخالص تحت شرایط بدترین-بهترین حلت موجودی نهاده‌ها، قیمت و عملکرد محصولات منتخب طی دوره ۵ سال (الگوی آرمانی-خاکستری) را نشان می‌دهد.

جدول ۲- سطح زیرکشت محصولات منتخب در الگوهای مختلف کشت

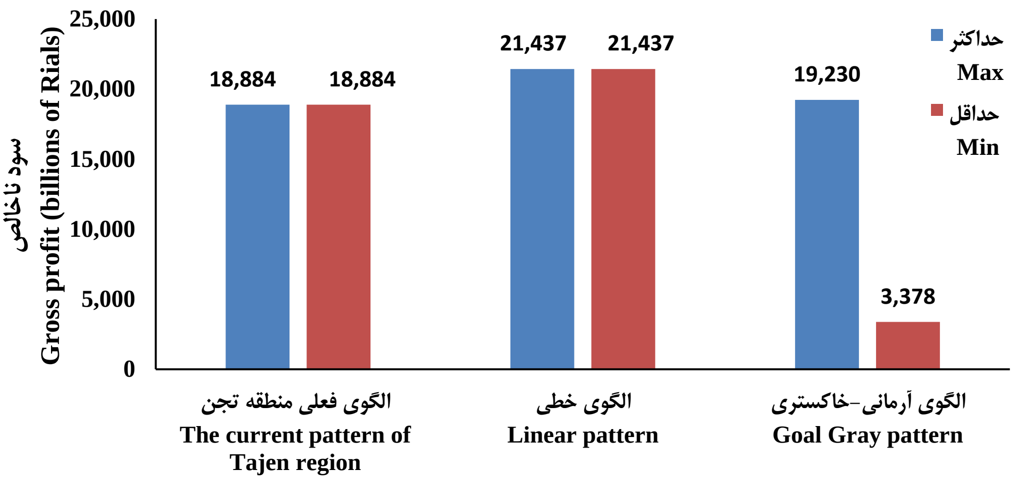
Table 2- The cultivated area of selected crops in different cropping patterns

نام محصول Crops	الگوی کشت فعلی منطقه تجن The current cropping pattern of Tajen region (ha)	الگوی کشت بهینه با روش برنامه‌ریزی خطی OPtimal cropping pattern with Linear Programming method (ha)	الگوی کشت بهینه با روش برنامه‌ریزی آرمانی-خاکستری OPtimal cropping pattern with Goal-Gray Programming method (ha)	اختلاف الگوی کشت بهینه با الگوی فعلی منطقه تجن Difference of oPtimal and current cropping pattern (%)	
				برنامه‌ریزی خطی Linear programming	برنامه‌ریزی آرمانی-خاکستری Goal -Gray programming
گندم Wheat	2200	0	208	-100	-91
جو Barley	386	2871	[0,2553]	644	[-100,561]
کلزا Canola	285	0	0	-100	-100
ذرت دانه‌ای Maize	2550	2286	7356	-10	188
برنج دانه‌بلند مرغوب High-quality long-grain rice	7643	842	[970,18157]	-89	[-87,138]
برنج دانه‌بلند پرمحصول High-yielding long-grain rice	22864	29929	[7654,9995]	31	[-67,-56]
بازده برنامه‌ای ناخالص Gross Margin	18884	21437	[3378,19230]	14	[-87,2]

در این مطالعه علاوه بر آرمان اقتصادی، آرمان محیط‌زیستی نیز به همان اندازه حائز اهمیت بود. لذا در ادامه، جدول ۳ میزان صرفه‌جویی در مصرف نهاده‌های مختل‌کننده کشاورزی پایدار را نسبت به الگوی فعلی منطقه مشخص می‌کند.

شکل ۳ میزان مصرف کودهای شیمیایی در صورت اعمال الگوهای مختلف کشت را نشان می‌دهد.

جدول ۳ و شکل ۳ نشان داد اعمال هر دو مدل خطی و آرمانی-خاکستری منجر به کاهش مصرف کودهای شیمیایی شد. این امر حاکی از آن بود که مصرف بیش از نیاز کود در منطقه وجود داشت. با اجرای مدل خطی در مصرف کود فسفاته، ازته و پتاسه به‌ترتیب ۵، ۱۳ و ۱۰ درصد صرفه‌جویی صورت گرفت. همچنین، با اجرای مدل آرمانی-خاکستری به‌طور متوسط از اسراف در مصرف کود فسفاته، ازته و پتاسه به‌ترتیب ۱۶، ۲۷ و ۲۰ درصد جلوگیری شد. در ادامه شکل ۴ میزان مصرف سموم کشاورزی را در صورت اعمال الگوهای مختلف کشت نشان می‌دهد.



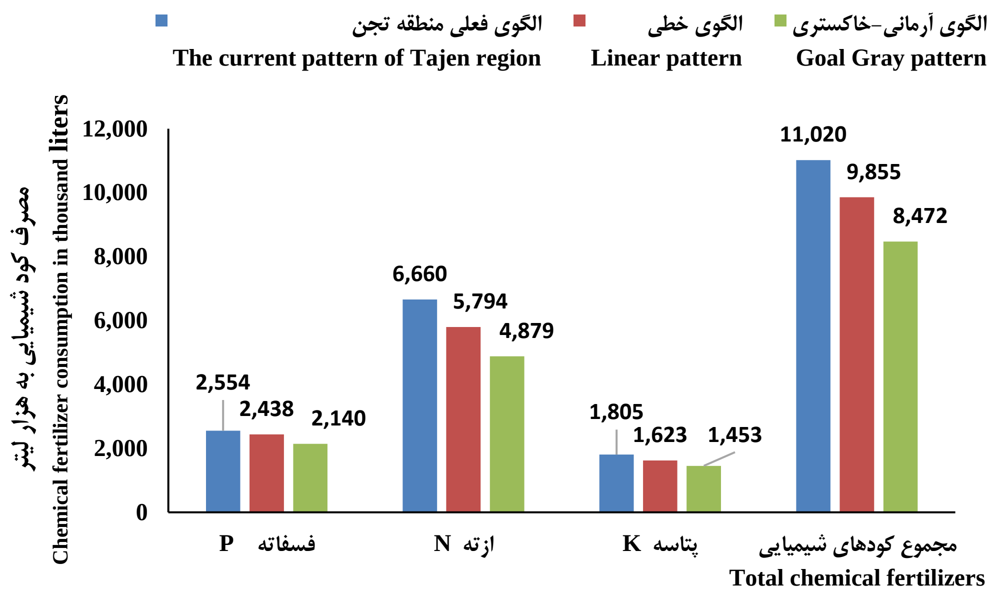
شکل ۲- مقدار سود ناخالص در الگوهای مختلف کشت

Figure 2- The amount of gross profit in different cropping patterns

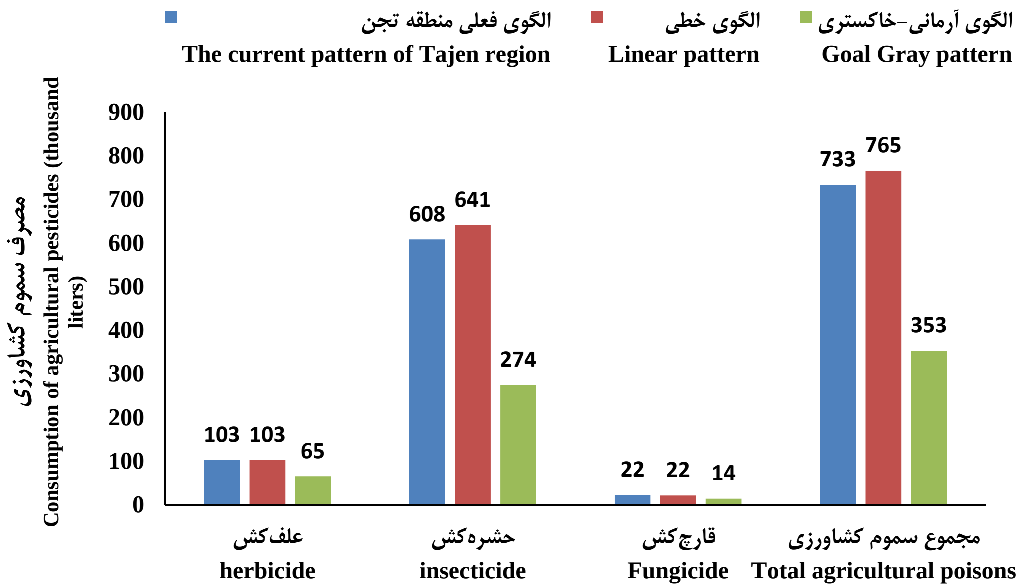
جدول ۳- میزان صرفه‌جویی در مصرف نهاده‌های شیمیایی در الگوهای مختلف کشت (درصد)

Table 3- The amount of saving in the consumption of chemical inputs in different cropping patterns (%)

نام نهاده Crops	الگوی کشت خطی Linear cropping pattern	الگوی کشت آرمانی-خاکستری Goal-Gray cropping pattern
کود فسفاته Phosphate fertilizer	-5	[-30,-2]
کود ازته Nitrogen fertilizer	-13	[-46,-8]
کود پتاسه Potash fertilizer	-10	[-39,-1]
سم علف‌کش Herbicide poison	0	[-70,-3]
سم حشره‌کش Insecticide poison	5	[-95,-15]
سم قارچ‌کش Fungicide poison	0	[-12,91]
آب آبیاری سالانه Annual irrigation water	-2	[-54,11]



شکل ۳- میزان مصرف کودهای شیمیایی در الگوهای مختلف کشت
Figure 3- The consumption of chemical fertilizers in different cropping patterns



شکل ۴- میزان مصرف سموم کشاورزی در الگوهای مختلف کشت
Figure 4- The consumption of agricultural pesticides in different cropping patterns

جدول ۳ و شکل ۴ نشان داد میزان مصرف سم علف‌کش و قارچ‌کش در مدل خطی دقیقاً معادل مدل فعلی منطقه بود. با این حال اجرای این الگو منجر به افزایش ۵ درصدی سم حشره‌کش شد. علاوه بر این، با اجرای مدل آرمانی-خاکستری مصرف سموم کشاورزی به‌طور متوسط از ۷۳۳ به ۳۵۵ هزار لیتر کاهش یافت (تقریباً نصف مصرف فعلی). در ادامه شکل ۵ میزان مصرف آب آبیاری سالانه را در صورت اعمال الگوهای مختلف کشت نشان می‌دهد.

جدول ۳ و شکل ۵ نشان داد میزان مصرف آب آبیاری در مدل خطی، ۲ درصد کمتر از مدل فعلی منطقه بود. با این حال در مدل آرمانی-خاکستری میزان مصرف این نهاده مهم توانست تا ۵۴ درصد کاهش و یا تا ۱۱ درصد افزایش یابد (با توجه به شرایط اقتصادی و آب و هوایی حاکم)؛ اما به‌طور میانگین میزان صرفه‌جویی در مصرف

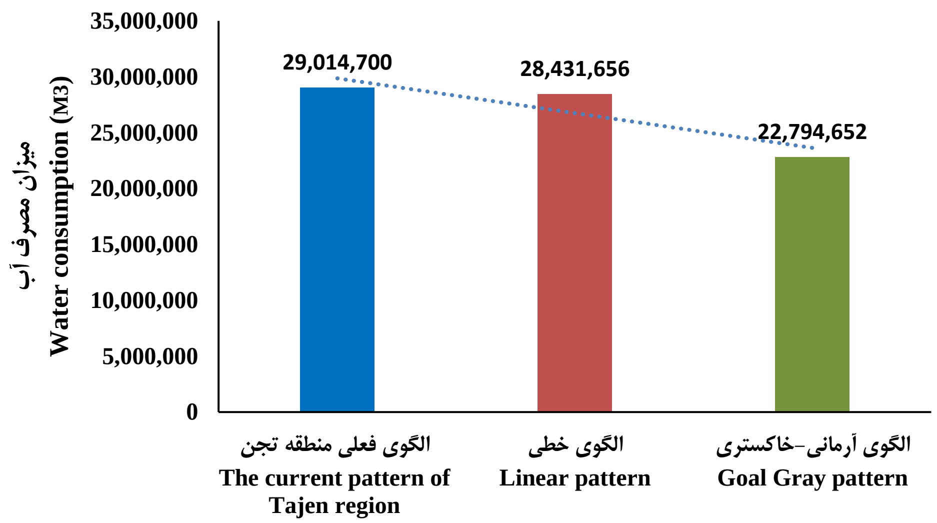
آب ۲۰ درصد بود. در ادامه سطح کشت محصولات منتخب بر مبنای مدل تلفیقی آرمانی-خاکستری مطابق با شکل ۶ می‌باشد.

شکل ۶ نشان از آن دارد سطح زیرکشت فعلی محصولات زراعی جو و برنج دانه‌بلند مرغوب در بازه پیشنهادی الگوی کشت به‌دست‌آمده توسط مدل آرمانی-خاکستری با لحاظ‌نمودن آرمان‌های اقتصادی و محیطزیستی قرار دارد اما در مورد محصولات گندم، ذرت دانه‌ای، کلزا و برنج دانه‌بلند پرمحصول این موضوع صادق نیست.

نتیجه‌گیری

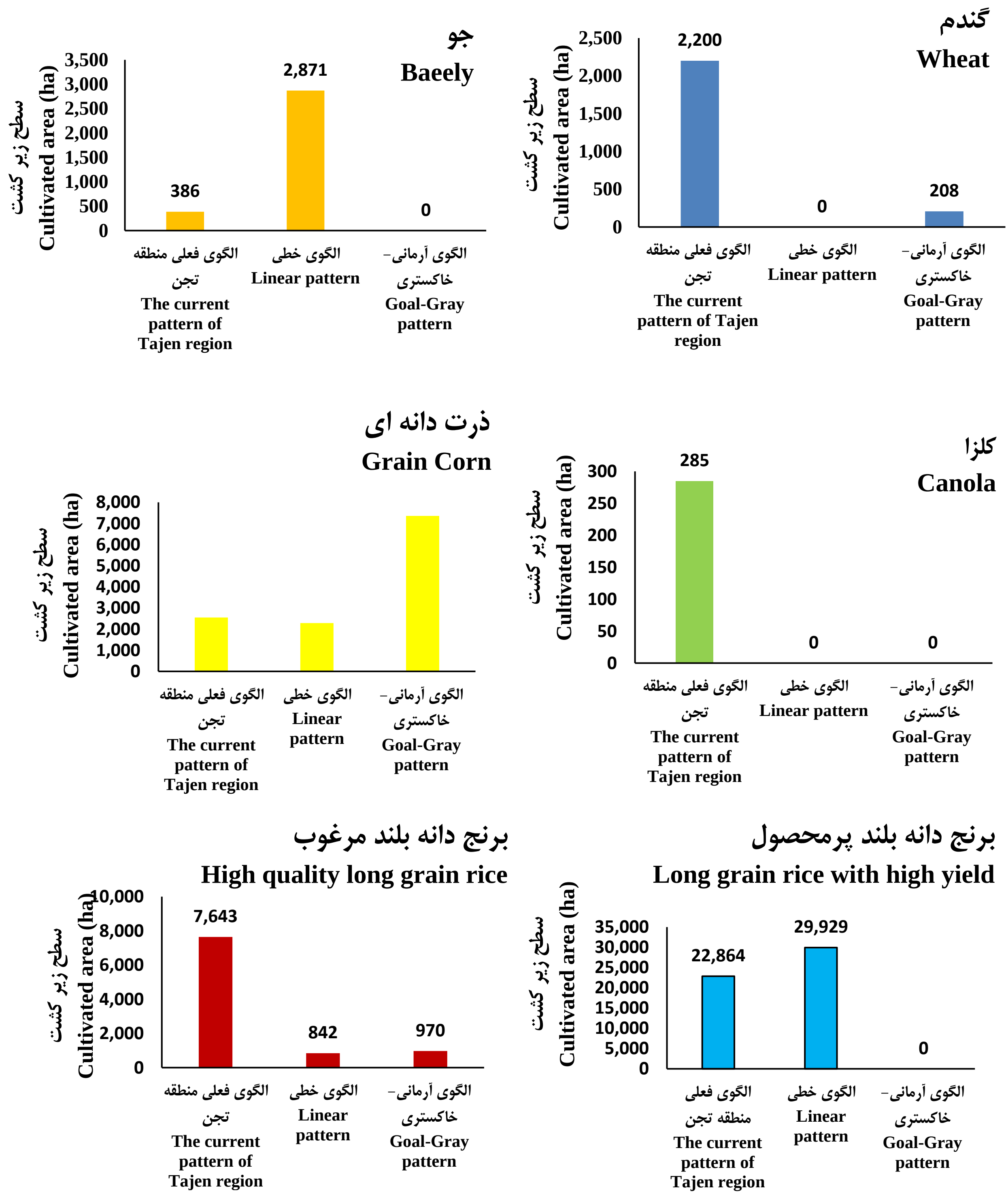
الگوی بهینه کشت به‌معنای جانمایی صحیح تولید بر اساس پتانسیل‌های طبیعی، اقتصادی و سیاست‌های استراتژیک کشور است و هدف از تدوین آن در گام نخست انجام نوعی از آمایش سرزمین در بخش کشاورزی است. طراحی الگوی کشت طی سال‌های اخیر یکی از چالش برانگیزترین مباحث مطرح‌شده در حوزه کشاورزی کشور بوده و بعد از هدفمندسازی یارانه‌ها، دومین برنامه مهم از سوی وزارت جهاد کشاورزی ابلاغ شده است. با این حال، با توجه به ناپایداری شرایط آب و هوایی و متغیرهای اقتصادی، هیچ برنامه بهینه‌ای نمی‌تولند حتی برای یک کشاورز معین تا مدت زیادی بهینه باقی بماند. ضمن آنکه چنانچه اگر در الگوی پیشنهادی فقط به اهداف کلان توجه شده باشد؛ کشاورزان خرده مالک بدون دریافت سوبسید و حمایت‌های تشویقی تمایلی به تبعیت از الگوی کشت پیشنهادی نخواهند داشت. در این راستا، مطالعه حاضر با هدف لحاظ‌نمودن عدم قطعیت در دستیابی به اهداف خرد (افزایش درآمد کشاورزان) و کلان (حفظ محیطزیست) انجام شد.

نتایج نشان داد با اعمال مدل تلفیقی آرمانی-خاکستری سطح مطلوب آرمان (۱) حاصل نمی‌شود؛ با این‌حال میزان سود ناخالص ایجادشده ۲ درصد بیشتر از الگوی فعلی منطقه خواهد بود. ضمن آنکه به‌طور متوسط ۲۳، ۵۲ و ۲۱ درصد صرفه‌جویی در مصرف کودهای شیمیایی، سموم کشاورزی و آب آبیاری ایجاد می‌شود که با نتایج مطالعات ذیل تطابق دارد: باقری و همکاران (Bagheri *et al.*, 2023) با کاربرد مدل برنامه‌ریزی فازی خاکستری در تعیین الگوی کشت شهرستان جیرفت دریافتند تدوین الگوی کشت با این روش منجر به کاهش آلودگی و میزان مصرف آب می‌گردد. کلاهی و همکاران (Kolahi *et al.*, 2023) با استفاده از روش برنامه‌ریزی چندهدفه به بررسی الگوی کشت خراسان رضوی پرداختند. یافته‌ها حاکی از آن بود که بیش از ۵۷ درصد میزان مصرف آب مجازی با ترکیب دو آرمان حداقل‌سازی آب مجازی و حداکثر سازی سود اقتصادی کاهش می‌یابد. بالوی و همکاران (Balovi *et al.*, 2022) به بررسی الگوی کشت شهرستان ورامین پرداختند. نتایج نشان از کاهش ۵/۵ درصدی ردپای آب الگوهای بهینه تحت آرمان همزمان سود و ریسک در مقایسه با الگوهای کشت فعلی منطقه داشت.



شکل ۵- میزان مصرف آب آبیاری سالانه در الگوهای مختلف کشت

Figure 5- The consumption of agricultural pesticides in different cropping patterns



شکل ۶- دامنه سطح کشت محصولات منتخب منطقه تجن در الگوهای مختلف کشت

Figure 6- The range of cultivation area of selected products of Tajen region in different cropping patterns

با توجه به نتایج حاصله پیشنهادات کاربردی ذیل ارائه می‌گردد:

اولاً؛ در این مطالعه مدل برنامه‌ریزی خطی بر اساس شرایط فعلی حوضه تجن تهیه شده است. لیکن نمی‌تواند برنامه مناسبی در شرایط ترسالی/خشکسالی یا در شرایط رونق/رکود اقتصادی یا مازاد/کمبود نهاده‌های تولیدی به کشاورزان ارائه نماید؛ ضمن آنکه مطابق با شکل ۲ حد بالا، حد پایین و در نتیجه حد متوسط بازده برنامه‌ای ناخالص در

الگوی کشت حاصل از مدل برنامه‌ریزی آرمانی-خاکستری به‌ترتیب برابر ۲۱۳۴۶، ۳۳۷۸ و ۱۲۳۶۲ میلیارد ریال است. بدین ترتیب، مطابق با رابطه (۴) درجه خاکستری برابر با ۱۴۵/۳ محاسبه می‌شود که نشان از معتمدبودن نتایج این مدل دارد. ثانیاً؛ اجرای الگوی کشت از سوی زارعین نیازمند ایجاد اطمینان خاطر در آنان جهت دریافت سود بیشتر است. مطابق با نتایج این مطالعه اجرای الگوهای کشت بهینه منجر به افزایش سود ناخالص می‌گردد. به‌طوری‌که افزایش متوسط سود ناخالص ۱۴ و ۱۳ درصدی به‌ترتیب از پیاده‌سازی مدل‌های برنامه‌ریزی خطی و آرمانی-خاکستری حاصل می‌شود؛ لذا پیشنهاد می‌شود مروجان بخش کشاورزی منافع درآمدی و هزینه‌ای حاصل از اجرای الگوهای کشت بهینه را برای زارعین منطقه تجن تشریح نمایند؛ زیرا تغییر رفتار کشاورزان بدون ایجاد اطمینان از جبران منافع اقتصادی میسر نخواهد بود. درآمد حاصل از کشت در بسیاری از موارد تکافوی جبران هزینه‌های تأمین نهاده و اجرای اراضی و حصول سود مکفی برای کشاورز را نمی‌دهد. در چنین شرایطی چنانچه تضامین مشخصی برای جبران عدم‌النفع و خسارت‌های احتمالی کشاورزان اندیشیده نشود بسیج عمومی به‌منظور اجرای الگوی کشت صورت نخواهد گرفت. در این راستا، ترویج مبارزه بیولوژیک با آفات و توزیع نهاده‌های زیستی جهت کنترل مصرف نهاده‌های شیمیایی و کاهش هزینه‌ها می‌تواند راهگشا باشد. ثالثاً؛ نتایج مدل‌های برنامه‌ریزی مبین آن است که در منطقه تجن مصرف بیش از نیاز کود وجود دارد؛ لذا در راستای کاهش زیان‌های وارده به محیط زیست، آب‌های زیرزمینی و شیوع بیماری‌ها، توصیه می‌شود سیاست‌گذاری‌ها به‌سمت کاهش دسترسی به این نهاده باشد. رابعاً؛ نتایج مدل‌های برنامه‌ریزی حاکی از آن است که در منطقه تجن منابع آبی اسراف می‌شوند؛ به‌طوری‌که اعمال هر کدام از الگوهای بهینه می‌تولند منجر به تحقق حفظ ذخایر منابع آبی تجن گردد؛ لذا توصیه می‌شود تخصیص آب به بخش کشاورزی با اندیشه برداشت کمتر از منابع آبی انجام گیرد.

علاوه بر این با توجه به نتایج حاصله پیشنهادهای زیر برای بهبود و ارتقای تحقیقات آتی ارائه می‌گردد. عدم وجود اطلاعات دقیق از منابع آب قابل برنامه‌ریزی سطحی و زیرزمینی و همچنین عدم دسترسی به آمار نهاده‌های توزیعی به تفکیک حوضه، سبب تدوین الگوی کشت بر اساس داده‌های مخدوش و قدیمی شده است. لذا توصیه می‌گردد با طراحی شبکه هوشمند متصل به داده‌های هواشناسی و زراعی جهت به‌روزرسانی داده‌ها، الگوی کشت مجدد بازنویسی شود. مدل تلفیقی آرمانی-خاکستری این مطالعه بر اساس میانگین داده‌های سری زمانی پنجساله تدوین شده است. توصیه می‌شود الگوی بلندمدت ده ساله نیز جهت مقایسه با الگوی فعلی تهیه شود.

سپاسگزاری

از کارشناسان سازمان جهاد کشاورزی استان مازندران و مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان ساری و همچنین کارشناسان شرکت آب منطقه‌ای استان که در جمع‌آوری داده‌ها همکاری داشته‌اند، تشکر می‌شود. ضمن آنکه این مقاله برگرفته از نتایج اولیه رساله دکتری با حقوق مادی و معنوی مرتبط با دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری انجام شده است؛ که بدین وسیله از آن دانشگاه تقدیر به‌عمل می‌آید.

References

1. Akbari, N., ZahediKeyvan, M., & ZahediKeyvan, M. (2009). Risk determination of cultivated crops in Hamadan province with use mathematical programming with attention to risk and uncertainty conditions. *Agricultural Economics and Development*, *16*(4), 63-82. https://doi.org/10.30490/aead.2009.58856
2. Amoozad Mahdiraji, H., Mokhtarzade, N., & Radmand, S. (2017). A Hybrid Model of Grey Fuzzy Goal Programming in Project Time, Cost, Risk and Quality Tradeoff. *Journal of Industrial Management Perspective*, *7*(3), 47-80. https://jimp.sbu.ac.ir/article_87194_c735b2d5e74b07fe431fa334cd3490cf.pdf
3. Mazandaran Regional Water Authority. (2022). *Water resources assessment report*. https://www.mzrw.ir.
4. Babakhani, B., Roghanian, E., & Azarnia, S. (2013). Using linear goal programming approach in quality function deployment method in grey conditions (Case study: Checking quality of olive oil). *Journal of Industrial Strategic Management*, *24*(8), 145-158. http://sanad.iau.ir/fa/Article/923531
5. Bagheri, A., Mohammadi, H., Dehbashi, V., & Mehdizadeh, R. M. J. (2023). Determining the optimal cultivation pattern of agricultural products in Jiroft city with the approach of reducing pollution and water consumption. *Scientific & Research Journals Mnagement System*, *5*(1), 1-21. https://doi.org/10.30495/jest.2023.62839.5481
6. Balovi, F., Liaghat, A., & Ebrahimian, H. (2022). Estimation of water footprint in current cropping patterns and its reduction capacity in optimal patterns under multiple goals conditions (Case study; Varamin region). *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, *53*(4), 987-999. https://doi.org/10.22059/ijaedr.2022.338478.669130

7. Basumatary, U.R., & Mitra, D. (2022). Application of intuitionistic fuzzy optimization techniques to study multi-objective linear programming in agricultural production planning in Baksa district, Assam, India. *Advanced Apply Mathmatical Science*, *21*(6), 3011-3028.
8. Dadkhah, S. (2022). Determining the cropping pattern of crops in Tehran province under conditions of uncertainty. Master's thesis. Faculty of Agricultural Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan.
9. Iranian Islamic Council Research Center. (2023). *Law on economic, social and cultural development programs of the Islamic Republic of Iran*. http://www.majlis.ir
10. National Center for Weather and Climate Change. (2023). *Drought crisis management report*. https://nacc.doe.ir
11. Ganesan, K. (2007). On some properties of interval matrices. *Journal Comp Mathematical Science*, *1*, 2.
12. Ghaffari-Hadigheh, A.R. (2016). Proposing two linear programming models in uncertain environment [Research]. *Journal of Operational Research and Its Applications*, *13*(3), 27-51. http://jamlu.liau.ac.ir/article-1-1398-en.html
13. Mardani Najafabadi, M., Abdeshahi, A., & Shirzadi Laskookalayeh, S. (2020). Determining the optimal cropping pattern with emphasis on proper use of sustainable agricultural disruptive inputs: Application of robust multi-objective linear fractional programming. *Journal of Agricultural Scince and Sustainble Production*, *30*(1), 241-256. https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir/article_10422_7159d7b2884f699491e164c8b7f43ec6.pdf
14. Ministry of Agriculture Jahad. (2022). *Vice President of Information and Communication Technology Center Statistics*. www.maj.ir
15. Ko, A.S., & Chang, N.-B. (2008). Optimal planning of co-firing alternative fuels with coal in a power plant by grey nonlinear mixed integer programming model. *Journal of Environmental Management*, *88*(1), 11-27.
16. Kashiri Kolaei F., Hosseini Yekani, S.A., & Mojaverian. S.M. (2021). The application of uncertainty theory in optimization of cropping pattern in Sari Goharbaran. *Eqtesad-E Keshvarzi va Towse'e*, *29*(113), 57-92.
17. Kolahi, M., Hosseinali, F., & Karimaei Tabarestani, M. (2023). Determining the optimal cultivation pattern by considering the concept of virtual water and economic benefits (Case Study: Omrani Plain in Khorasan Razavi). *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, *16*(6), 1221-1232. https://idj.iaid.ir/article_163507_8ea33ba349259d99f8ac0493901cf1ce.pdf
18. Li, M., Xu, Z., Jiang, S., Zhuo, L., Gao, X., Zhao, Y., Liu, Y., Wang, W., Jin, J., & Wu, P. (2021). Non-negligible regional differences in the driving forces of crop-related water footprint and virtual water flows: A case study for the Beijing-Tianjin-Hebei region. *Journal of Cleaner Production*, *279*, 123670.
19. Mardani Najafabadi, M., Abdeshahi, A., & Shirzadi Laskookalayeh, S. (2020). Determining the optimal cropping pattern with emphasis on proper use of sustainable agricultural disruptive inputs: Application of Robust multi-objective linear fractional programming. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Producton*, *30*(1), 241-256. https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir/article_10422_7159d7b2884f699491e164c8b7f43ec6.pdf
20. Mazandaran Province Agricultural Jihad Organization. (2022). *Economic statistics*. https://jkmaz.ir
21. Mohseni, S., & Nabiyyan, S. (2017). Determining the cropping pattern using gray programming. *Third International Conference on Environmental Engineering.*
22. Razavi Hajiagha, S.H., Amoozad Mahdiraji, H., Akrami, H., & Hashemi, S.S. (2013). Topsis- based non-Iinear programming model for calculating the Ideal weights of the decision. *Industrial Management Studies*, *11*(29), 21-39. https://jims.atu.ac.ir/article_1249_484767ac515640abc96d5393ec4dffae.pdf
23. Sabzevari, A., Rajabipour, A., Bagheri, N., & Omid, M. (2020). Determining the cropping pattern of agricultural products as a strategy to reduce food security disaster in Iran. *Environmental Management Hazards*, *7*(1), 23-38. https://doi.org/10.22059/jhsci.2020.298174.542
24. Sengupta, A., Pal, T.K., & Chakraborty, D. (2001). Interpretation of inequality constraints involving interval coefficients and a solution to interval linear programming. *Fuzzy Sets and systems*, *119*(1), 129-138. https://doi.org/10.1016/S0165-0114(98)00407-2
25. Soleymani Nejad, S., Dourandish, A., Sabouhi, M., & Banayan Aval, M. (2019). The effects of climate change on cropping pattern (Case study: Mashhad plain). *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, *50*(2), 249-263. https://doi.org/10.22059/ijaedr.2019.237998.668461

26. Solimani, M., Rahimi, D., & Yazdanpanah, H. (2021). Climate change adaptation strategy in agriculture (Rostam County). *Journal of Natural Environmental Hazards*, *10*(29), 19-32. https://doi.org/10.22111/jneh.2020.32681.1598
27. Soltani, A., Alimagham, S., Nehbandani, A., Torabi, B., Zeinali, E., Zand, E., Vadez, V., Van Loon, M., & Van Ittersum, M. (2020). Future food self-sufficiency in Iran: A model-based analysis. *Global Food Security*, *24*, 100351. https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100351
28. Copernicus Climate Data Store. (2023). *Copernicus Climate Data Store* https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/ecv-for-climate-change?tab=form
29. Yazdi, M., & Sohrabi, R. (2021). *Multi-objective decision-making and goal planning along with Lingo and Excel software training*. Publication of Termeh, Tehran. https://www.termehbook.com/